

銀河の電離光子放射率の赤方偏移依存性に関する考察

○井上 昭雄¹ (1.早稲田大学)

宇宙再電離過程の理解は重要な課題である。JWSTによる高感度分光観測により、Lyman α break profile 観測にもとづく宇宙の中性度 x_{HI} の測定などが進み、再電離史がある程度分かってきた。それによると、 x_{HI} は赤方偏移 $z \sim 7-8$ で急激に低下したように見える。つまり、 $z \sim 8$ あたりで宇宙の電離光子密度が急激に高まり、再電離が急速に進行したように見える。このことは、形成に時間がかかる比較的大質量の銀河からの電離光子供給が支配的であるとするシナリオを支持しているのかもしれない。一方、輻射流体数値シミュレーションによる銀河からの電離光子脱出過程の研究によると、小質量銀河の方が電離光子脱出率が高いという結果が得られている。したがって、どんな銀河が再電離光源として寄与したのかどうか、改めて検証しなおす局面にある。そこで本研究では、JWSTなどを始めとした x_{HI} 測定を総合的に利用して得られた Kageura et al. 2026 による $x_{\text{HI}}(z)$ にもとづき、銀河の電離光子脱出率の赤方偏移進化を考察した。

まず、one-zone 再電離計算にもとづき、 $x_{\text{HI}}(z)$ を共動体積当たりの電離光子放射率 $n_{\text{ion}}(z)$ に変換した。次に、赤方偏移 $z=5-12.5$ の広範囲にわたる観測的な紫外線光度関数をシンプルなモデルで再構築した。すなわち、ハロー質量に依存した、double-power law 関数による星形成効率を用いて、ハロー質量と紫外線絶対等級を対応付け、ハロー質量関数を紫外線光度関数に変換した。このとき、 $z > 10$ では星形成効率を上昇させることで、JWSTによる光度関数の再現に成功した。そして、光度関数を積分して共動体積当たりの紫外線放射率 $\rho_{\text{UV}}(z)$ を求めた。最後に、 $n_{\text{ion}}(z)$ を $\rho_{\text{UV}}(z)$ で割ることで、 $f_{\text{esc}} \xi_{\text{ion}}(z)$ を得た。結果として、赤方偏移 $z=5-7$ にかけて2倍以上に急上昇したのち、しばらく一定値を保ち、その後、赤方偏移 $z > 10$ では低下することが分かった(添付図参照)。これは、高赤方偏移になるにつれ、銀河の個数・質量が減少するにともない、紫外線光度密度も減少するが、それ以上に、 $x_{\text{HI}}(z)$ から見積もられた必要な電離光子数密度が減少することに起因する。したがって、**銀河の電離光子放射率は赤方偏移の単調関数ではない可能性がある**と分かった。仮に電離光子生成率 ξ_{ion} は初期の銀河ほど高いとすれば、電離光子脱出率 f_{esc} が低下する必要がある。このことは、初期の銀河ほど中性水素ガスに覆われているという JWST の観測と整合的である。

